

香川県内のごみ埋立処理について(第三報)

不燃物等埋立処理場からの有害金属等の溶出について

合田 順一 大津 和久 中野 智

はじめに

香川県のT埋立処理場では、2市7町による広域行政事業の一環として、不燃物等(空びん、空かん等不燃性ごみおよびごみ焼却炉より排出される焼却残灰)を大規模に埋立している。焼却残灰には有害金属等がかなり高濃度含まれており、それらを埋立すれば、浸出水として、溶出するのではないかと考えられる。そこで、T埋立処理場に埋められている焼却残灰と覆土について、溶出試験および吸着試験を行ない、溶出の可能性とその時期について検討した。その結果、若干の知見が得られたので報告する。

試験方法

1. 試料採取および調整

T埋立処理場に運び込まれた焼却残灰から均一性をき

すために、試料は、数回に分けて採取した。また、覆土も同時に採取した。それらを風乾した後、ガラス、陶器類、金属片などの粗大ごみを取り除き、粉碎後、5mmの篩を通し、有害金属等の測定および溶出試験、吸着試験の試料とした。さらに、A、B、C、D、Eの各焼却施設についても、灰バンカの部分から採取し、上記同様の操作を行ない、有害金属等の測定試料とした。

2. 分析方法

有害金属等の測定および溶出試験については、底質調査方法¹⁾によって行なった。また吸着試験については、試料約5gを200ml共栓付三角フラスコに取り、適当な濃度の有害金属等の標準液50mlを加え、15分間振とうした後、No.6ろ紙によりろ過し、ろ液を分析した。分析はPerkin-Elmer 370型原子吸光により行なった。PCBについてはJISK0093により行なった。²⁾ なお、いずれの場合にも試料の水分含量を測定し、分析値を乾物当りに換算した。

表1. 焼却残灰および覆土の分析

項目	焼却施設	A	B	C	D	E	T*	覆土	クラーク数**
Fe (μg/g)		2.1×10 ⁴	1.8×10 ⁴	2.1×10 ⁴	2.7×10 ⁴	1.6×10 ⁴	1.1×10 ⁴	1,340	4.7×10 ⁴
Mn (μg/g)		961	611	858	895	987	93.3	5,440	900
Zn (μg/g)		2,220	1,950	3,510	8,950	8,580	4,000	58.1	40→80
Cu (μg/g)		1,970	790	845	993	1,190	1,070	0.17	100→70
Ni (μg/g)		68.6	50.1	96.3	72.7	45.6	42.4	1.83	100
T-Cr (μg/g)		203	6,980	479	148	166	81.5	11.5	200
T-CN(μg/g)		1.30	5.86	2.72	1.67	0.52	0.65	検出せず (0.01未満)	-
As (μg/g)		8.4	5.3	5.6	6.3	5.8	14.3	検出せず (0.1未満)	5
Pb (μg/g)		1,080	560	2,580	979	2,950	1,810	5.93	15
Cd (μg/g)		15.8	11.6	27.4	21.6	21.2	24.0	検出せず (0.1未満)	0.5→0.15
T-Hg (μg/g)		0.14	0.05	1.67	0.39	0.04	0.27	0.02	0.2
PCB(μg/g)		検出せず (0.01未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	-

* T埋立処理場に運び込まれた焼却残灰

** 化学大辞典より

表 2. 溶 出 試 験

	覆 土			焼 却 残 灰			
	pH 7	pH 5	pH 3	pH 7	pH 5	pH 3	雨水*
As (mg/l)	検出せず (0.01未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
T-Hg (mg/l)	検出せず (0.0005未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
Mn (mg/l)	0.59	0.67	0.78	検出せず (0.04未満)	検出せず	検出せず	検出せず
Cd (mg/l)	検出せず (0.002未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
Fe (mg/l)	29.1	29.5	30.0	0.24	1.34	1.34	0.97
Ni (mg/l)	検出せず (0.05未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
Cu (mg/l)	検出せず (0.04未満)	検出せず	検出せず	1.30	1.38	1.44	1.98
Zn (mg/l)	検出せず (0.15未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
Cr ⁶⁺ (mg/l)	検出せず (0.05未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
Pb (mg/l)	検出せず (0.05未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
PCB (mg/l)	検出せず (0.0005未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず
T-CN (mg/l)	検出せず (0.1未満)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず

* 雨水のpH 4.7 であった。

結果および考察

1. 焼却残灰および覆土の有害金属等の含有量について

A, B, C, D, E の 5 施設および T 埋立処理場で採取した焼却残灰および覆土中の有害金属等の含有量を表 1 に示した。当調査の測定値を他の報告例^{3),4)}と比較すると、ほぼ同様な結果となっている。また、ばらつきが非常に大きいのが特徴的である。クラーク数と比較すると、Zn, Cu, Pb, Cd 等の金属が、オーダー的に高くなっている。これらが主に土壌汚染の原因になるのではないかと考えられる。

2. 溶出試験について

焼却残灰および覆土からの溶出試験の結果は表 2 に示した。Fe, Mn, Cu 以外の有害金属等はすべて検出限界以下であった。なお、溶出試験の条件として、pH 7, pH 5, pH 3 および雨水 (pH 4.7) で検討したが、あまり有意な差はなかった。

3. 吸着試験について

溶出試験では、ほとんどの有害金属等が検出されなかったことからして、これらを埋立している埋立場浸出水中に溶出する可能性のあるものは、Fe, Mn, Cu であり、他は当分溶出してこないと考えられる。そこで、焼却残灰および覆土による有害金属等の吸着について検討した。まず、これらは活性炭と同様に吸着緩衝能が大きいであろうと考え、活性炭のヨード吸着試験に類似させて吸着

試験を行なった。^{5),6)} ショーレンベガー法による陽イオン交換容量 (CEC) を測定しなかったのは、この場合、実用的でないと考えたからである。図 1 ~ 図 10 に各金属の等温吸着線を示した。よく Freundlich^{7),8)} の式に従っていることがわかる。なお、PCB については、10mg/l すべて吸着した。以上のことから考えて、金属の土壌吸着は物理吸着がほとんどで、単なるイオン交換は一部のように思われる。また、このような図を用いて、除去量の推定、換言すれば、これらが埋立された場合に溶出して来る有害金属等の濃度の推定の目安としても利用できる。すなわち、排水基準値を溶出する限界許容量を、作成した等温吸着線より求めることができる。例えば Fe の場

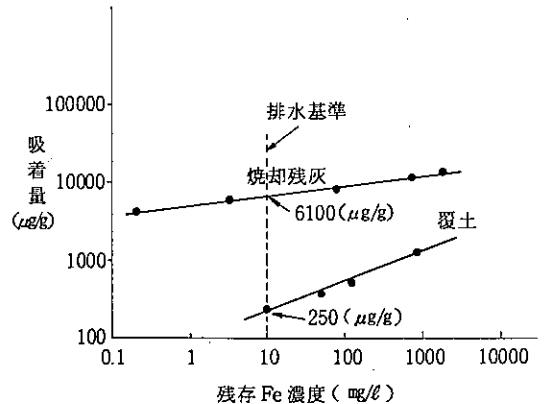


図 1. Fe の等温吸着線

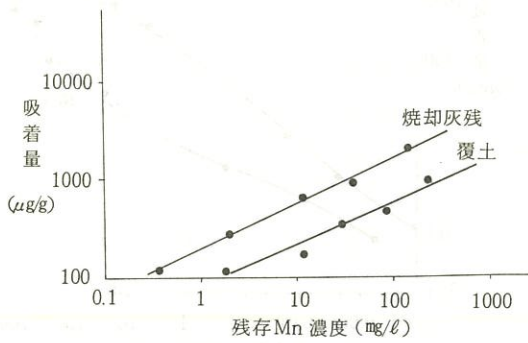


図 2. Mn の等温吸着線

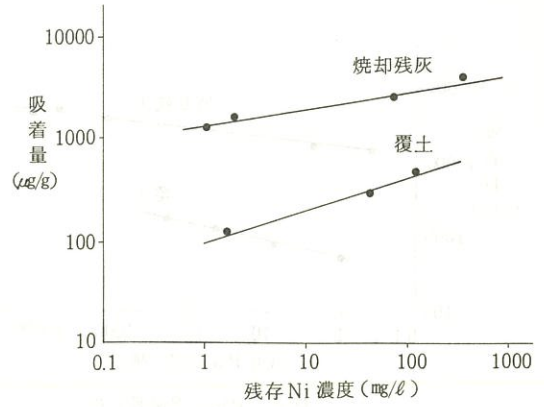


図 5. Ni の等温吸着線

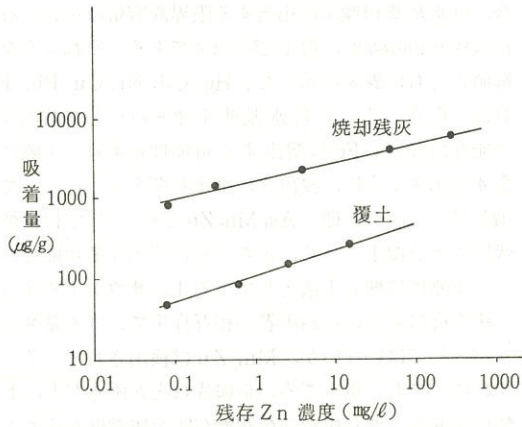


図 3. Zn の等温吸着線

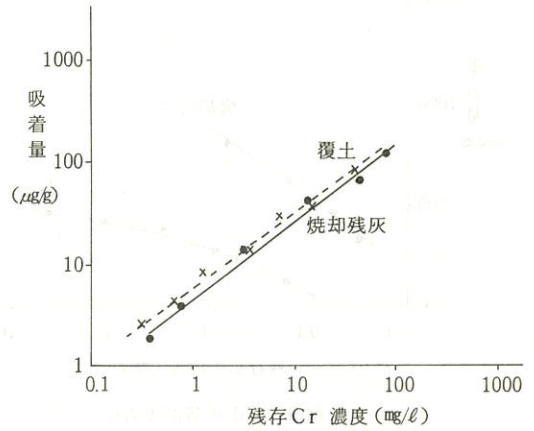


図 6. Cr の等温吸着線

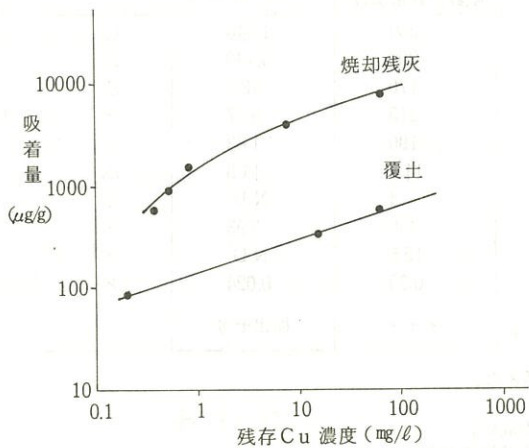


図 4. Cu の等温吸着線

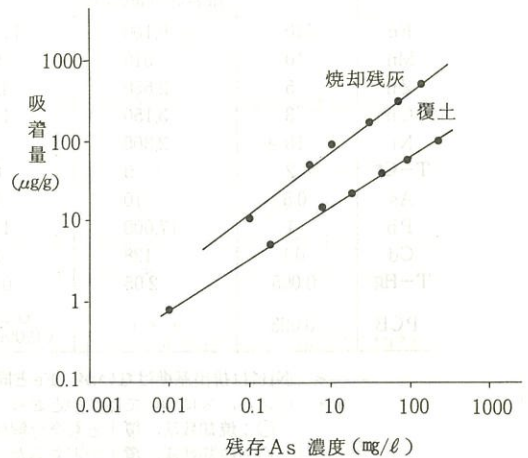


図 7. As の等温吸着線

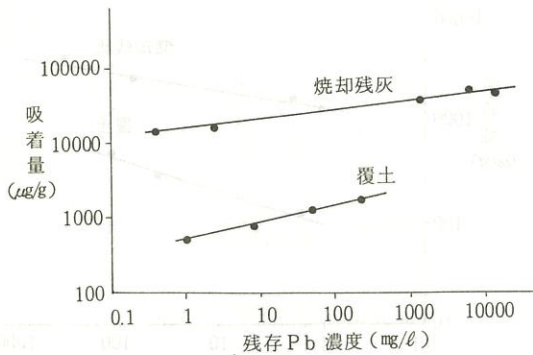


図 8. Pb の等温吸着線

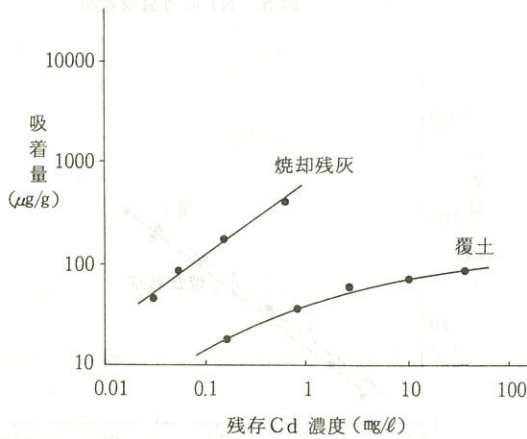


図 9. Cd の等温吸着線

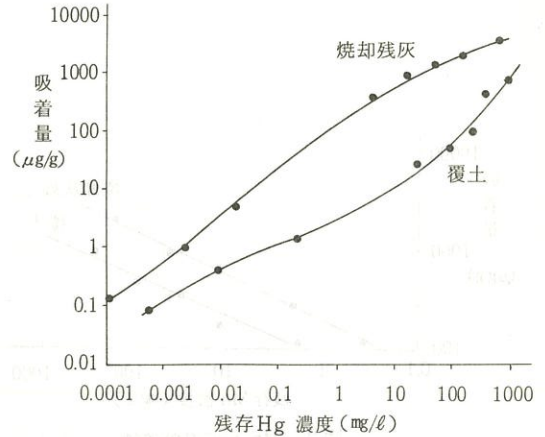


図 10. Hg の等温吸着線

合、排水基準10mg/lに相当する限界許容量はそれぞれ焼却残灰6,100μg/g、覆土250μg/gである。それらを全分解値とともに表3に示した。Hg, Cd, Ni, Cu, Pb, PCBは、現在のところ排水基準をオーバーして溶出する可能性はない。Feは溶出する可能性があり、実際にも表4に示すように、浸出水中に排水基準をオーバーして溶出している。その他、As, Mn, Zn, Crについては、焼却残灰および覆土のうち、どちらかに溶出する可能性がある。実際には埋立工法として1対1のサウンドウィッチ工法を行なっている為両者の相互作用で、排水基準をオーバーしてはいないが、Mn, Znは検出されている。いずれにしても、粗大ごみ、金属片などが雨水などにより、酸化が進み、埋立場内の溶解性有害金属濃度が高くなる

表 3. 吸着試験の結果

	排水基準 (mg/l)	焼 却 残 灰		覆 土		** 備 考
		排水基準 限界許容量(μg/g)	全 分 解(μg/g)	排水基準 限界許容量(μg/g)	全 分 解(μg/g)	
Fe	10	6,100	11,000	250	1,340	○
Mn	10	510	93.3	200	5,440	△
Zn	5	2,650	4,000	170	58.1	△
Cu	3	3,150	1,070	215	0.17	×
Ni	10*	2,300	42.4	190	1.83	×
T-Cr	2	9	81.5	11.5	11.5	△
As	0.5	10	14.3	4	N D	△
Pb	1	17,000	1,810	450	5.93	×
Cd	0.1	128	24.0	12.5	N D	×
T-Hg	0.005	2.05	0.268	0.35	0.024	×
PCB	0.003	***	検出せず (0.0005未満)	***	検出せず	×

* Niには排出基準はないが、Feと同様に考えた。

** ○, △, ×については次のとおり

○; 焼却残灰, 覆土とも全分解値の方が高い。

△; 焼却残灰, 覆土のどちらか一方の全分解値が高い。

×; 焼却残灰, 覆土とも全分解値の方が低い。

*** 10mg/lのPCBで吸着試験をした結果、全PCBが吸着した。

表4. 浸出水の有害金属等の濃度

	最低	最高	平均	排水基準
Fe (mg/l)	0.33	77.5	11.4	10
Mn (mg/l)	検出せず (0.04未満)	5.6	1.53	10
Zn (mg/l)	検出せず (0.15未満)	3.09	0.35	5
Cu (mg/l)	検出せず (0.04未満)	検出せず	検出せず	3
Cr ⁶⁺ (mg/l)	検出せず (0.02未満)	検出せず	検出せず	0.5
As (mg/l)	検出せず (0.01未満)	検出せず	検出せず	0.5
Pb (mg/l)	検出せず (0.05未満)	検出せず	検出せず	1
Cd (mg/l)	検出せず (0.002未満)	0.002 *	検出せず	0.1
T-Hg (mg/l)	検出せず (0.0005未満)	検出せず	検出せず	0.0005
T-CN (mg/l)	検出せず (0.1未満)	検出せず	検出せず	1
PCB (mg/l)	検出せず (0.0005未満)	検出せず	検出せず	0.003

* 7回測定中1回検出された。

表5. 有害物質の主要化学形態

有害物質	化合物	主要化学種
シアン	KCN	HCN
カドミウム	Cd(NO ₃) ₂	Cd ²⁺
鉛	Pb(NO ₃) ₂	Pb(OH) ⁺
クロム(六価)	K ₂ CrO ₄	CrO ₄ ²⁻
ヒ素	Na ₂ HAsO ₄	HAsO ₄ ²⁻
総水銀	HgCl ₂	HgCl ₂

文献8) P.25 第3表引用

と、浸出水に溶出してくる可能性がでてくる。井上⁹⁾によれば、土壌吸着における有害金属等の主要な化学的存在形態は、表5のとおりである。As, Cr は陰イオンの形態であり、Hgは分子形態であることから、As, Cr, Hg は比較的溶出されやすい金属であることがわかる。また、表3におけるAs, Cr, Hgの限界許容量の低いこともこのことを裏づけている。このことから考え、As, Cr, Hgについては、今後の埋立に際して十分注意する必要がある。また、埋立の一方として、吸着容量が大きくて、有害金属濃度の低い、例えば、腐植土のような覆土⁹⁾¹⁰⁾を用い、サンドウィッチ工法の覆土比率をコスト的にも可能な範囲内で高くすれば、ほとんどの有害金属等が溶出しない埋立が可能であると考えられる。なお、吸着試験において、数種の金属を一度に混合した場合の相互作用については、今後の検討課題の1つである。

おわりに

焼却残灰の分析結果から埋立浸出水中にZn, Cr, Pb, Cd等の有害金属の溶出が考えられたが、溶出試験の結

果、Fe, Mn, Cuが溶出することがわかった。Fe, Mnは環境にかなり多量に存在するので、バックグラウンドと見なすべきであろう。吸着試験の結果では、Hg, Cd, Ni, Cu, Pb, PCBは現在のところ溶出する可能性はないが、Feは実際に基準をこえて浸出水に溶出しており、Mn, Znについても排水基準内で若干溶出している。またAs, Crについても溶出する可能性がある。そこで、吸着容量の大きい覆土を用い、覆土比を高くした埋立工法をとれば、ほとんどの有害金属等の溶出は防ぐことができると思われる。また、定期的に埋立土壌の分析データを把握していれば事前に溶出の時期をつかむことができると思われる。

文 献

- 1) 環境庁水質保全局水質管理課編：底質調査方法とその解説(1975)
- 2) JISK0093-1974：工場排水中のポリ塩素化ビフェニル(PCB)の試験方法
- 3) 藤本義典：公害と対策, 14, 10, 54(1978)
- 4) 英国環境省：用水と廃水, 20, 7, 87(1978)
- 5) JISK 1474：粒状活性炭試験方法
- 6) 高橋一三：水処理技術, 15, 3, 7(1974)
- 7) 日本工業用水協会：水処理実験法, P 426 コロナ社(1972)
- 8) 立本英機：水処理技術, 15, 7, 46(1974)
- 9) 井上頼輝：水処理技術, 14, 8, 25(1973)
- 10) 櫻村広秋：用水と廃水, 21, 10, 28(1979)